

现代电子制造  
系列丛书



# 现代电子装联 高密度安装 及微焊接技术

◎ 樊融融 编著

Modern  
Electronics



Manufacturing



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

现代电子制造系列丛书

# 现代电子装联高密度 安装及微焊接技术

樊融融 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

现代电子制造技术的发展日新月异,电子产品生产更快、体积更小、价格更廉价的要求推动了电子制造技术的革命。本书从目前的微小型元器件(0201、01005、EMI、EDS)、细间距芯片及其封装(如FBGA、LGA、CSP、FCOB、QFN)等的高密度安装特性、焊接技术的要求和遇到的瓶颈问题出发,全面地分析了现代电子设备高密度安装和微焊接技术的发展特点和技术内容;通过寻找遇到的瓶颈问题的可能的解决办法,探索了电子制造技术未来的发展趋势。

本书既可作为中兴通讯电子制造职业学院工程师研修班的教学用书,也可作为相关企业员工的专业技能培训教材,还可作为高等院校相关专业师生的教材或者教学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

现代电子装联高密度安装及微焊接技术 / 樊融融编著. —北京:电子工业出版社, 2015.10  
(现代电子制造系列丛书)

ISBN 978-7-121-27403-9

I. ①现… II. ①樊… III. ①电子装联—焊接工艺 IV. ①TN305.93②TG44

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第245278号

策划编辑:宋梅

责任编辑:宋梅

印刷:北京京科印刷有限公司

装订:北京京科印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:20.75 字数:531千字

版次:2015年10月第1版

印次:2015年10月第1次印刷

印数:3000册 定价:68.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

## 总 序

当前,各种技术的日新月异以及这个时代的各种应用和需求迅速地推动着现代电子制造技术的革命。各门学科,比如,物理学、化学、电子学、行为科学、生物学等的深度融合,提供了现代电子制造技术广阔的发展空间,特别是移动互联网技术的不断升级换代、工业4.0技术推动着现代电子技术的高速发展。同时,现代电子制造技术将会在机遇和挑战中不断变革。比如,人们对环保、生态的需求,随着中国人口老龄化不断加剧,操作工人的短缺和生产的自动化,以及企业对生产效率提高的驱动,将会给现代电子制造技术带来深刻变革。不同的时代特征、运行环境和实现条件,使现代电子制造的发展也必须建立在一个崭新的起点上。这就意味着,在这样一个深刻的、深远的转折时期,电子制造业生态和电子生产制造体系的变革,为增强制造业竞争力提供了难得的机遇。

对于中国这个全球电子产品的生产大国,电子制造技术无疑是非常重要的。而中兴通讯作为中国最大的通信设备上市公司,30年来,其产品经历了从跟随、领先到超越的发展历程,市场经历了从国内起步扩展到国外的发展历程,目前已成为全球领先的通信产品和服务供应商,可以说是中国电子通信产品高速发展的缩影。在中兴通讯成功的因素中,技术创新是制胜法宝,而电子制造技术也是中兴通讯的核心竞争力。

无论是“中国智造”,还是“中国创造”,归根到底都依赖懂技术、肯实干的人才。中兴通讯要不断夯实自身生产制造雄厚的技术优势和特长,以更好地推动和支撑中兴通讯产品创新和技术创新。为此,2013年中兴通讯组建了电子制造职业学院,帮助工程师进修学习新知识和新技术,不断提升工程师的技术能力。为提升学习和培训效果,我们下功夫编写供工程师进修学习的精品教材。为此,公司组织了以樊融融教授为首的教材编写小组,这个小组集中了中兴通讯既有丰富理论又有实践经验的资深的专家队伍,这批专家也可以说是业界级的工程师,这无疑保证了这套教材的水准。

《现代电子制造系列丛书》共分三个系列,分别用于高级班、中级班、初级班,高级班教材有4本,中级班教材有6本,初级班教材有2本。本套丛书基本上覆盖了现代电子制造所有方面的理论、知识、实际问题及其答案,体现了教材的系统性、全面性、实用性,不仅在理论和实际操作上有一定的深度,更在新技术、新应用和新趋势方面有许多突破。

本套丛书的内容也可以说是中兴通讯的核心技术,现在与电子工业出版社联合将此丛书公开出版发行,向社会和业界传播电子制造新技术,使现在和未来从事电子制造技术研究的工程师受益,将造福于中国电子制造整个行业,对推动中国制造提升能力有深远的影响,这无疑体现了“中兴通讯,中国兴旺”的公司愿景和一贯的社会责任。

中兴通讯股份有限公司董事长

## 前 言

现代电子制造技术的发展日新月异，电子产品生产更快、体积更小、价格更廉价的要求推动了电子制造技术的革命。微电子技术的高速发展和进步给人类社会带更多的好处和福音，但也给现代电子制造带来了更多的问题和挑战。不断缩小的封装很快使周边引线的方式走到了极限；不断细微化的微小间距面阵列封装成了从事电子安装者们的梦魇。为了达到最高的性能，人们不得不直接使用板上芯片（COB）、例装芯片（FC）和直接芯片安装（DCA）的方式，将芯片或者引线直接焊接到 PCB 上。但芯片、引线和 TAB 几乎和封装一样均要增加引线电感系数。显然，高性能是将裸芯片直接倒装和焊接到其下面的基板上来实现的。因为在倒装芯片工艺中不涉及引线或引脚，几乎完全摒弃了传统的封装方式，改变了传统产品制造技术的格局。

摩尔定律不是一个自然法则，它取名于传奇的哥登·摩尔（世界上最大的芯片制造商创始人）。这个定律叙述在一个硅晶片上的晶体管数量将每隔 18 个月翻一番。“摩尔定律现在还正确，但其统治即将结束”，这是 Intel 的科学家鲍尔·帕科曼的观点。他认为一旦进入 0.10 微米技术时代，因为导线之间的绝缘原子不足以区分 0 与 1（关或开），电子可能击穿绝缘材料，因此引起不希望发生的短路。

封装寄生现象——那些不希望有的引脚（封装外）和连接引线（封装内）的分布电感与电容，阻碍了电子速度。PCBA 主板上连接不同芯片封装的连线把电子的速度降得更低。因此，芯片封装、印制电路设计和 PCBA 安装工程师们正面临着更大的挑战。

安装还要完成一些非常重要的功能。例如，给芯片提供电源，保持芯片冷却。如果热量不能有效地消散，较高的温升（硅芯片温度）将减慢电子速度。因此，设备制造工程师们不得不使用各种散热措施以保持空气流通而又不使设备产生噪声。

自组装技术（生产过程中使用自然原理）概念的提出，揭示了电子制造的一场新的技术革命开始急流涌动，它利用了下述几方面的概念：

① 自然界以其自身的方式形成高度复杂的物质对象，使物质本身连续不断地耦合无数同样的基本元素来形成自身，小到分子，大到肉眼可见的颗粒及万物。DNA 双螺旋线是生物学领域中自组装系统的例证，实际上，晶体栅格的形成过程也可以用同样的原理解释。所有这些结构的共同点是：在热动力学平衡中，它们并非依靠共价化学键来结合。因此，它们虽然非常容易受到机械力或热力的冲击，但可以不断地自动调整或自身修复，还可通过每个颗粒或细胞所固有的属性来形成，这些属性包括表面张力和分子间耦合力。

合成技术领域中的自组装工艺技术需要对某些环境条件进行过程控制才能获得想要的属性和结构，这些环境条件包括压力、温度、分子力或电场 / 电磁场力。

② 随着半导体和微机械元器件尺寸小到纳米级，基于机械组装系统和焊接技术的传统组装和连接技术将遇到严重的挑战。D. O. Popa 提出了“封装差距”，若继续遵守摩尔定律的话，就会在 2010 年以后的十年中发生“组装危机”。他还指出：组装和封装复杂电子系统的成本将占到整个系统制造成本的 60%~90%。D. O. Popa 称：按当前的组装过程及它们将来的生存能力开发了一种分类等级。用当前的组装设备定位中型元器件相对简单（中型元器件的定义是指元器件每端测量高度高于 1 mm）。越来越明显的缺点是：原理上拾取和贴装环节

是个连续过程，每次只能贴装一个元器件。主要的物理效应是利用地心吸引力和摩擦力。在不久的将来，如果元器件的尺寸再继续减小的话，将会由毫米级缩减到微米级，并且还将会继续减小。因此，必须使用地面效应、静电学和范德华力来处理微小的元器件。

串行处理这些小元器件已是不再可行的。在大量组装纳米级元器件时，已不再使用机械工具的方法来精确定位元器件了。主要影响这些元器件精确定位和贴装的因素是极小分子间的相互作用力。由此可见，基于机械方式的串行处理技术将会完全失效。

③ 现在已到了使用并行贴装技术取代串行贴装的时候了。A. Singh 等人所提出的方法是：使用移动的方式将预先搭建整个系统的薄膜图形转移到基板上，使用类似“3D 打印”的方式可以并行地制造整个电路图形。从效果上讲与喷墨或印刷到基板的思维是相似的。

④ 减小器件和基板焊凸点间的表面能是定位中型级元器件的另一种思想，这种方法需把焊凸点加热到高于熔点的温度。通过组装的轻微振动可纠正错误的定位，振动可以使元器件离开错误的位置并进行重新定位。但是，该技术不能在元器件定位方面提供选择性。利用元器件与基板之间的表面能进行定位，正是 H. O. 雅各布等人在哈佛大学开发的技术。

撰写本教材的目的：使正在从事电子制造的工程师们（包含工艺工程师、质量工程师、生产管理工程师、物流配送工程师等）在系统地掌握现阶段电子制造技术的同时，前瞻性地了解一些下一场电子制造技术革命的方向和内容。目前正处于这场新技术革命的萌发期，我们应从现阶段电子产品制造中不断涌现的一些新的瓶颈问题和挑战中，从科学原理上来逐步揣测、体会、认识和迎接这场新技术革命的到来。

中兴通讯是国内拥有世界一流现代化生产设备和手段的大型通信设备供应商。长年以来公司董事长侯为贵先生始终把不断发展公司产品制造技术和人才队伍的建设摆在公司发展的重要位置。

遵循侯董事长对中兴电子制造职业学院教材建设的指示，在公司执行副总裁邱未召先生的直接领导下，我们编著了《现代电子装联高密度安装及微焊接技术》这本书，作为公司电子制造职业学院工程师研修班的教材，目的就是引导我们的电子制造工程师们，更好地从现阶段的技术内容过渡到未来的新的技术内容时代。

在本书的编写过程中，得到了中兴通讯股份有限公司高级副总裁陈健洲先生、公司高级顾问马庆魁先生、公司人力资源部曾力部长、公司制造中心主任董海先生、副主任丁国兴先生、HR 部李晓明部长、质量部林彬部长，中兴通讯电子制造职业学院汪芸副院长、张加民副院长等领导的关怀和帮助，在此表示衷心的感谢。

作者在完成这一书稿过程中得了公司制造中心和制造技术研究院的刘哲、邱华盛、孙磊、史建卫、潘华强、付红志等同志的协助，在此表示由衷的感谢。

樊融融

2015 年 10 月 30 日  
于中兴通讯股份有限公司

# 目 录

第 1 章 高密度安装技术概论	1
1.1 现代电子设备的电气安装	2
1.1.1 电子设备概述	2
1.1.2 电子设备的电气安装	3
1.2 电子设备的高密度安装技术	5
1.2.1 何谓高密度安装技术	5
1.2.2 现代电子设备的安装密度	7
1.2.3 现代电子设备高密度安装技术是一项系统工程技术	10
思考题	12
第 2 章 高密度安装中的元器件	15
2.1 电子设备用电子元器件	16
2.1.1 电子设备用电子元器件的基本概念	16
2.1.2 元器件的小型轻量化对现代电子设备高密度安装的意义	17
2.2 现代微电子设备用电子元件	19
2.2.1 现代微电子设备用分立元件	19
2.2.2 现代微电子设备用元件的小型化和轻量化的发展历程	22
2.3 现代微电子设备用电子器件	25
2.3.1 现代微电子设备中的电子器件及其对安装环境的适应性	25
2.3.2 高密度安装半导体封装技术	26
2.3.3 高密度安装的半导体器件小型化和轻量化的发展	27
2.4 集成电路 (IC)	30
2.4.1 集成电路及其特点	30
2.4.2 集成电路的常用分类方法	30
2.4.3 IC 封装及其作用	31
2.5 如何区别集成电路的封装类型	32
2.5.1 周边配列封装	32
2.5.2 表面阵列封装 (BGA 和 CSP 等)	35
2.5.3 QFP、BGA、CSP 等 IC 的主要电气特性比较	43
思考题	43
第 3 章 高密度安装中的 IC 多芯片组件	45
3.1 SoC、SiP 及 HIC	46
3.1.1 引言	46

3.1.2	SoC 和 SiP .....	46
3.1.3	HIC (混合 IC) .....	49
3.2	MCM 多芯片组件 .....	50
3.2.1	MCM 概述 .....	50
3.2.2	MCM 的分类及特性比较 .....	52
3.2.3	HIC、MCM、SiP 的相互关系 .....	53
3.3	模块、裸芯片和 KGD .....	55
3.3.1	模块 (组件) .....	55
3.3.2	裸芯片和 KGD .....	55
3.3.3	光模块 .....	57
3.3.4	微波 IC 和微波模块 .....	60
3.4	3D 安装 .....	62
3.4.1	3D 安装技术的发展 .....	62
3.4.2	3D 安装工艺 .....	62
	思考题 .....	64
<b>第 4 章</b>	<b>高密度组装中的印制电路板</b> .....	<b>67</b>
4.1	概述 .....	68
4.1.1	印制线路、印制电路和印制板 .....	68
4.1.2	制造印制电路板的基本工艺方法及其特点 .....	69
4.1.3	印制板的分类 .....	70
4.2	高密度组装用多层印制电路板 .....	70
4.2.1	多层印制板 (MLB) .....	70
4.2.2	MLB 互连基板的特点 .....	72
4.2.3	影响高密度安装 MLB 机械性能、电性能、热性能的因素 .....	73
4.2.4	高密度安装 MLB 基板布线的基本原则 .....	75
4.3	积层 / 高密度互连 (HDI) 印制板 .....	76
4.3.1	积层多层印制电路板 (BLB) 的高速发展 .....	76
4.3.2	积层多层印制板 (BLB) 的芯板 .....	77
4.3.3	积层用芯板的主要制造工艺 .....	78
4.3.4	目前采用非电镀方法制造 (BLB) 主要的工艺方法 .....	79
4.3.5	积层 / 高密度互连 (HDI) 印制板 .....	82
4.4	金属芯印制板及挠性印制板 .....	85
4.4.1	金属芯印制板的作用及常用的材料 .....	85
4.4.2	挠性印制板概述 .....	87
4.5	埋入元器件的印制板 .....	89
4.5.1	埋入式印制板概述 .....	89
4.5.2	同时埋置有源及无源元器件的系统集成封装基板 .....	91



4.6	高密度安装无铅印制板及表面可焊性涂覆层的选择	92
4.6.1	无铅焊接对层压板的要求	92
4.6.2	高密度安装高频印制板的可焊性涂层的特性分析	93
	思考题	94
<b>第 5 章</b>	<b>微细元器件在 PCBA 上的安装</b>	<b>97</b>
5.1	微细元器件概述	98
5.1.1	微细元器件及其发展驱动力	98
5.1.2	微细元器件在电子设备中的应用及其对相关工艺装备的要求	98
5.1.3	微细元器件在高密度安装中的主要缺陷及其成因	99
5.2	0201 在 PCBA 基板上的安装	100
5.2.1	0201 片式元件在电子设备中的应用及其对安装工艺的挑战	100
5.2.2	使用 0201 元件的 PCB 的安装设计	101
5.2.3	0201 在 PCBA 基板上安装的工艺窗口要求	102
5.2.4	归纳与总结	105
5.3	01005 在 PCBA 基板上的安装	106
5.3.1	超级微细元件 01005 的发展、应用及安装工艺面临的挑战	106
5.3.2	01005 在 PCB 上安装焊盘图形设计的优化	107
5.3.3	01005 在 PCB 上安装的工艺窗口要求	108
5.3.4	归纳与总结	109
5.4	EMI/ESD 器件的安装问题	110
5.4.1	EMI/ESD 类器件的基本特性	110
5.4.2	EMI/ESD 类器件供应商推荐的无铅再流焊接参数	111
5.4.3	EMI/ESD 类器件在安装中常见的焊接缺陷	112
5.4.4	安装中焊接缺陷的形成机理及改进的措施	112
	思考题	114
<b>第 6 章</b>	<b>细间距球阵列封装芯片 (FBGA、CSP、LGA、FCOB) 在 PCBA 基板上的 2D 安装</b>	<b>117</b>
6.1	细间距球阵列封装芯片	118
6.1.1	细间距球阵列封装 (FBGA) 芯片	118
6.1.2	芯片尺寸封装 (CSP)	119
6.2	细间距球阵列封装芯片安装技术概述	121
6.2.1	细间距球阵列封装芯片安装技术的发展	121
6.2.2	安装阶层 (安装层次) 的定义	126
6.2.3	表面安装技术已成为现代电子产品高密度安装的主流工艺	127
6.2.4	高密度安装技术的标准化及安装注意事项	128
6.3	细间距球阵列封装芯片在 PCBA 上的安装	130

6.3.1	焊膏及其应用	130
6.3.2	钢网厚度和孔径设计	131
6.3.3	贴装工艺与控制	133
6.3.4	再流焊接	133
6.3.5	清洗与免清洗	136
6.3.6	安装间隔高度	137
6.3.7	SMT 后工序	137
6.4	无引脚框架的超薄外形芯片 (LGA/QFN) 在 PCBA 上的安装	138
6.4.1	阵列焊盘封装 (LGA)	138
6.4.2	无引脚周边扁平封装 (QFN)	142
6.4.3	芯片直接贴装 (DCA)	143
	思考题	143
<b>第 7 章</b>	<b>细间距芯片在 PCBA 上的 3D (堆叠) 安装</b>	<b>145</b>
7.1	3D 安装概述	146
7.1.1	3D 安装的定义与发展	146
7.1.2	3D 安装技术的分类及其在电子装备表面安装中的应用	148
7.2	SMT 的新拓展——从二维走向三维	151
7.2.1	3D 安装技术在 SMT 中的拓展	151
7.2.2	3D 堆叠安装所面临的挑战	153
7.3	3D 堆叠 (PoP) 安装技术	155
7.3.1	概述	155
7.3.2	堆叠工艺	157
7.3.3	PoP 的安装形态	158
7.3.4	助焊剂膏和焊膏的应用	159
7.3.5	PoP 芯片堆叠安装 SMT 工序解析	160
	思考题	164
<b>第 8 章</b>	<b>电子整机系统安装中的高密度安装技术</b>	<b>167</b>
8.1	电子整机系统概述	168
8.1.1	系统及系统的特征	168
8.1.2	电子整机系统的结构组成	169
8.2	刚性印制背板的制造	172
8.2.1	背板的作用、要求及分类	172
8.2.2	光印制板的原理和构造	173
8.3	刚性背板的安装	175
8.3.1	普通高速高密印制背板安装中所采用的接合、接续技术	175
8.3.2	光印制板的安装	180

8.4	微电子设备整机系统的安装	182
8.4.1	微电子设备整机系统安装的内容和特点	182
8.4.2	微电子设备安装电路的发展历程	183
8.4.3	安装工艺设计的要求	184
8.4.4	用导线进行机箱(柜)内的电气安装	185
8.4.5	印制板插座架的装配	187
8.4.6	门、设备和机架的装配	187
8.5	微波组件和光模块的安装	188
8.5.1	微波组件的安装	188
8.5.2	光·电复合基板的3D安装	190
	思考题	191
<b>第9章</b>	<b>微电子设备高密度安装中的电磁兼容及散热问题</b>	<b>193</b>
9.1	概述	194
9.1.1	现代微电子设备高密度安装中所面临的挑战	194
9.1.2	解决电子设备高密度安装中的电磁兼容和热问题是项系统工程	194
9.1.3	安装工艺过程控制要求越来越精细	194
9.2	微电子设备高密度安装中的电磁兼容性	195
9.2.1	电磁兼容性及在电气安装中的要求	195
9.2.2	微电子设备安装工艺的抗干扰性及其影响因素	195
9.2.3	在高密度电气安装中对电磁兼容性的基本考虑	196
9.2.4	在高密度电气安装中电气互连线的电长度	197
9.2.5	电气安装互连线的寄生耦合	198
9.2.6	用导线进行电气安装的电磁兼容性	199
9.2.7	EMS、EMI和EMC	201
9.3	微电子设备高密度安装中的热工问题	201
9.3.1	概述	201
9.3.2	微电子设备中的热产生源	203
9.3.3	热管理——热量的散失方法	206
9.3.4	热界面材料	208
9.3.5	BGA散热片的黏附方法	209
9.3.6	微电子设备中冷却手段的选择	211
9.3.7	特殊的冷却方式	214
	思考题	217
<b>第10章</b>	<b>电子装联高密度安装中的微焊接技术</b>	<b>219</b>
10.1	高密度安装中的微焊接技术	220
10.1.1	高密度安装中的微焊点与微焊接	220

10.1.2	微焊接技术的工艺特征	222
10.2	高密度安装中的微焊接工艺可靠性设计	223
10.2.1	设计依据	223
10.2.2	微焊接工艺可靠性设计的基本概念和内容	223
10.2.3	微焊接工艺可靠性设计的定义和内容	224
10.2.4	微焊接安装工程要求	226
10.3	微焊接技术对传统 SMT 工艺的挑战	226
10.3.1	焊膏钎料粉粒度的选择和钢网开孔	226
10.3.2	焊膏印刷工艺中从未有过的基本物理问题	228
10.3.3	微细元件及细间距器件对贴装的挑战	230
10.3.4	微细元件及细间距器件对再流焊接的挑战	231
10.4	微焊接对再流炉加热方式和加热机构的要求	236
10.4.1	微焊接用再流焊接炉的基本热量传递方式及效果评估	236
10.4.2	适合微细元件及细间距器件微焊接用的“远红外线+热风”炉	240
10.5	细间距器件在微焊接过程中应关注的问题	242
10.5.1	细间距封装器件在再流焊接过程中焊点的受热问题	242
10.5.2	高密度安装中的共面性	244
10.5.3	建议要关注的工艺问题	247
	思考题	249
<b>第 11 章 微焊接技术中常见的焊点缺陷及其分析</b>		<b>251</b>
11.1	细间距封装器件的安装工艺控制标准	252
11.1.1	细间距封装器件的高密度安装工艺控制	252
11.1.2	微焊接焊点缺陷的特征和分类	253
11.2	微焊接中极易发生的焊点缺陷	255
11.2.1	焊点焊料量不足(少锡)	255
11.2.2	焊点桥连	255
11.2.3	冷焊	256
11.2.4	虚焊	257
11.2.5	偏位	257
11.2.6	元件滑动	258
11.2.7	立碑现象	259
11.2.8	芯吸现象	259
11.2.9	开路	260
11.2.10	不充分/不均衡加热	260
11.2.11	元器件缺陷	261
11.3	微焊点中的空洞	263
11.3.1	概述	263

11.3.2	空洞的产生	264
11.3.3	空洞的分类及影响	264
11.3.4	焊球中空洞的工艺控制标准要求	266
11.4	球窝 (PoP)	267
11.4.1	球窝的分类和形位特征	267
11.4.2	PoP 再流焊接中球窝缺陷的图像特征	269
11.4.3	PoP 再流焊接球窝缺陷形成机理	275
11.4.4	PoP 再流焊接球窝缺陷的抑制措施	276
	思考题	277
<b>第 12 章</b>	<b>高密度安装中的微焊接焊点检测技术</b>	<b>279</b>
12.1	微焊点检测技术概述	280
12.1.1	微焊接中的主要缺陷及其特征	280
12.1.2	在微焊接中常用焊点检测方法及其适用性	280
12.2	高密度安装中的 X-Ray 检测技术	281
12.2.1	X-Ray 检测技术的功能和检测原理	281
12.2.2	X-Ray 图像捕获	282
12.2.3	实时 X-Ray 设备的选用	282
12.2.4	断层 X-Ray 检测技术	285
12.2.5	观察视野	286
12.3	高密度安装中的其他检测技术	287
12.3.1	声频显微扫描检测技术	287
12.3.2	红外热敏成像	289
12.3.3	扫描电镜 (SEM) 与能谱分析 (EDX)	290
12.3.4	BGA 间隔测量	292
12.3.5	光学检测	292
12.3.6	破坏性分析	293
12.4	产品生产性验收试验	294
12.4.1	电气测试 (ICT 和 FT)	294
12.4.2	测试覆盖率	295
12.4.3	老化和加速测试	295
	思考题	297
<b>第 13 章</b>	<b>现代电子装联高密度安装技术发展的瓶颈及未来可能的解决途径</b>	<b>299</b>
13.1	现代电子制造高密度安装技术现状	300
13.1.1	高密度安装技术的发展历程	300
13.1.2	先进的元器件加速了高密度安装技术的发展	300
13.1.3	先进板级电路安装工艺技术的发展	301

13.2 现代电子装联高密度安装技术正面临的瓶颈·····	302
13.2.1 摩尔定律所揭示的发展规律·····	302
13.2.2 焊膏印刷所面临的挑战·····	304
13.2.3 贴片和贴片机面临的挑战·····	305
13.2.4 再流焊接和焊接设备所面临的挑战·····	306
13.2.5 电子整机与封装走向一体化·····	306
13.3 电子装联技术未来走向·····	307
13.3.1 背景·····	307
13.3.2 下一代微型元器件安装技术——电场贴装·····	307
13.3.3 电子装联技术未来的走向——自组装技术·····	308
思考题·····	309
<b>缩略语</b> ·····	311
<b>跋</b> ·····	317

# 第1章 高密度安装技术概论



## 本章要点

- 📁 现代电子设备的电气安装
- 📁 电子设备的高密度安装技术



## 1.1 现代电子设备的电气安装

### 1.1.1 电子设备概述

#### 1. 电子设备及其分类

##### (1) 电子设备

人们常常把用来接收、变换和传输以电磁信号形式表现的信息装置统称为电子设备。根据信号变化的特性，将信号分为连续信号和离散（脉冲）信号。

##### (2) 电子设备分类

电子信息装置根据其传输信息特征的不同，通常分为如下两类。

- 模拟设备：信息由连续信号来传输的设备称为模拟设备；
- 数字设备：信息由离散信号来传输的设备称为数字设备。

模拟设备与数字设备的组成方法有着本质上的区别，从而也导致了其安装工艺上的差异。

自 19 世纪中叶起，借助电磁信号来传输信息的方法得到了广泛应用。随着信息的传输和变化方法的开展，用来传输和变换信息的设备的应用范围也不断扩大，设备的构成形式也发生了很大变化。

- 早期的电子设备的结构与有线通信设备相似（木箱、绝缘导线安装、用螺针接触）；
- 19 世纪 30 年代，由于车载和舰载无线电设备的安装需要，导致必须用金属机架来提高强度及屏蔽个别部件；
- 19 世纪 40 年代，为了确保坦克和机载设备不受气候的影响，发展了密封外壳，为了防止机械过载而研制出减震器。
- 19 世纪 50—60 年代，要求火箭、导弹设备具有最小的体积和重量，又出现了微型组件、印制电路板、半导体器件、同轴电缆和微带传输线及集成电路。

设备的进一步复杂化要求采用提高集成度的新方法，这时要借助一些按新原理进行工作的功能器件（如声电器件、光电器件、场效应二极管、双极型晶体管）。

随着元器件技术的不断进展，电子设备的结构及其安装密度（单位体积内的元器件数）也发生了变化。而且在广泛采用功能器件之后，预期的安装密度还会进一步明显增大。

#### 2. 电子设备的结构工艺特点

电子设备的结构工艺有以下特点。

- ① 必须确保各个元器件和部件之间的电气连接，机械连接仅起次要作用。
- ② 外形与元器件等功能部件的内部安装之间的联系不密切（并行的），从而能将结构设计的这两个方面视为大致上是相互独立的。
- ③ 必须考虑有用信号的失真及出现虚假信号（干扰）的可能性。
- ④ 必须考虑热影响。通常，热影响会严重影响结构的参数。





上述特点是如此重要,以致决定了把电子设备的结构设计独立作为一门知识领域。电子设备的质量和效能、可靠性、重量-尺寸参数和耗能参数、生产成本、运行成本和功能的实现等,在很大程度上都与结构-工艺有关。

可以把现代电子设备的结构看成某种构件的组合物。它的各个部件都处于分级的并列从属关系,也就是将一些结构-工艺上比较简单的最终单位(单个分立元件、集成电路、微型组件)顺序连接成较复杂的单位而使结构复杂化。

### 3. 电子设备结构分级的目的

结构分级能实现下述目的:

- ① 依靠降低不可分割部件的集成度来减少生产中的废品。
- ② 并行制造不同的部件,从而缩短产品的生产周期,并易于对生产过程进行监管。
- ③ 在使用期间便于维修。

虽然结构分级体系提供了某些好处,但也有一些缺点,即安装密度降低、制造复杂。安装密度的降低受到下述因素的影响:

- 集成电路罩上外壳时要浪费一部分空间。
- 部件连同印制电路板的空间利用率低。
- 存在接头、机械固定件及确保散热的缝隙。
- 必须放置显示元件和控制元件。
- 易出现结构上和功能上的多余物。

## 1.1.2 电子设备的电气安装

### 1. 何谓电子设备的电气安装

所谓电子设备的电气安装,就是指在把处于低结构等级的单元连接成高结构等级的单元时,用以保证电气性能上不可分割的那一部分结构。电气安装一般是从两个方面来展开的,即接点之间的互连和直接接触。

现代电子设备是以大量应用微电子学器件作为特征的,因此,人们常常就直接将其定义为微电子设备。

### 2. 现代电子设备电气安装的任务和特点

#### (1) 现代电子设备电气安装的任务

现代微电子设备能够完成非常复杂的功能(高速电子计算机、雷达、卫星通信、导航、电视等系统)。这就导致了在一个电子系统的组成中包含大量各种各样的功能单元。在生产过程中,一个基片上所能得到的功能单元的集成度,往往还做不到只用单个集成电路来制成足够复杂的电子装置。因此,现代微电子设备的结构均遵循逐步复杂化的原则,把一些较简单的部件在结构上连成一体来加以实现。这样就形成了结构等级。结构等级通过电气安装便结合成为一个统一的功能装置。

对于不同的结构等级,采用不同的电气安装方法。例如,处在第一个结构等级上的集成